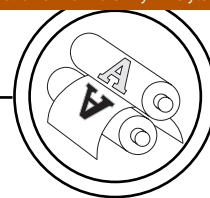


ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



УДК 655.222.6

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ФОТОПОЛІМЕРНИХ ШТАМПІВ ДЛЯ ТИСНЕННЯ**

© В. З. Маїк, к.т.н., доцент, Н. В. Ярка, аспірантка,
УАД, Львів, Україна

**В работе проведено исследование физико-механических
и теплофизических свойств фотополимерных штампов
для тиснения.**

**Research of physical, mechanical and thermophysical pro-
perties of photopolymer stamps for embossing has been held.**

Постановка проблеми

Механічні властивості полімерів, які застосовуються у будь-якій сфері, вважаються одними з найважливіших експлуатаційних показників, тому потрібно мати достатньо чіткі уявлення про фізико-механічні властивості цих матеріалів.

На основі аналізу літературних джерел, враховуючи специфіку експлуатації фотополімерних штамів для тиснення при температурах $+100-150^{\circ}\text{C}$ та напруженнях $4-70\text{ МПа}$, визначено доцільність дослідження наступних фізико-механічних властивостей: твердість матеріалу, деформаційні властивості при дії навантаження, зносостійкість, теплофізичні властивості [1–10]. Оцінка цих властивостей дозволить визначити придатність фотополімерних матеріалів для виготовлення штамів для тиснення.

Мета роботи

Обрати методики та провести дослідження фізико-механічних властивостей фотополімерного штампа для тиснення, з метою визначення граничних можливостей його експлуатації при дії температури та механічного навантаження.

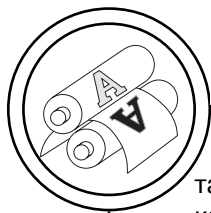
Результати проведених досліджень

У даній роботі досліджувались фізико-механічні властивості фотополімерного штампа, який виготовлений з твердої фотополімеризаційноздатної композиції Rigilon MX 145 (ТОК, Японія).

Для визначення твердості за методом Шор А використовувався прилад «2033 ТИР». Деформаційні властивості при дії змінного навантаження ($0,4-3,8\text{ МПа}$) на матеріал визначались на еластомірі Чехмана. Визначення деформаційних властивостей штампа при постійному навантаженні $0,7\text{ МПа}$ проводилось на приладі ІЗВ-1.

Зносостійкість фотополімерного шару штампа визначали методом стирання на приладі ІМР. Стирання досліджуваного зразка виконували за допомогою абразивного матеріалу — шліфувального паперу марки Р320.

Термомеханічні властивості фотополімерного штампа вивчали за допомогою методу термічного механічного аналізу (ТМА). Вимірювання проводилось на приладі конструкції кафедри поліграфічного матеріалознавства



та хімії Української академії друкарства при навантаженні 0,15 МПа на зразок та швидкості нагрівання 2 °С/хв. Зразок для досліджень готувався у вигляді циліндра діаметром 10 мм і висотою 3 мм.

Термічна стійкість зразка масою 100 мг досліджувалась на дериватографі Q-1500D (MOM, Угорщина) при температурі нагрівання +250 °С, зі швидкістю нагрівання 5 °С/хв. Чутливість за шкалою ТГ (термогравіметрична крива) складала 50 мг. Чутливість за шкалою ДТА (диференційний термічний аналіз) становила 100 мкВ.

На основі опрацювання експериментальних даних побудовано діаграму стиску матеріалу, графіки залежності відносної деформації від часу дії навантаження, графічну залежність деформації зразка від температури та дериватограму фотополімерного штамп.

На рис. 1 і 2 представлені криві, які характеризують деформаційні та релаксаційні процеси, які проходять під дією різних видів навантаження на штамп.

З рис. 1 видно, що між кривими формується петля гістерезису, яка характеризує релаксаційні процеси, що проходять в товщі полімеру. Після зняття навантаження зразок не релаксує повністю, його залишкова деформація складає 6,8 %. Цей факт може бути пов'язаний не лише з процесом текучості матеріалу, але також, внаслідок максимального наближення умов проведення дослідів до експлуатаційних, де процес навантаження і розвантаження проходить дуже швидко, в матеріалі не встигає розвинути рівноважна деформація [1].

У таблиці 1 представлені розраховані показники модуля стиску та модуля пружності при дії змінного навантаження на штамп.

Залежність загальної відносної деформації полімеру від часу дії постійного навантаження σ відображається кривою повзучості, яка показана на рис. 2.

Ділянка кривої до часу дії навантаження 1800 с відповідає зміні відносної деформації при навантаженні, а ділянка від 1800 с до 3600 с — при розвантаженні.

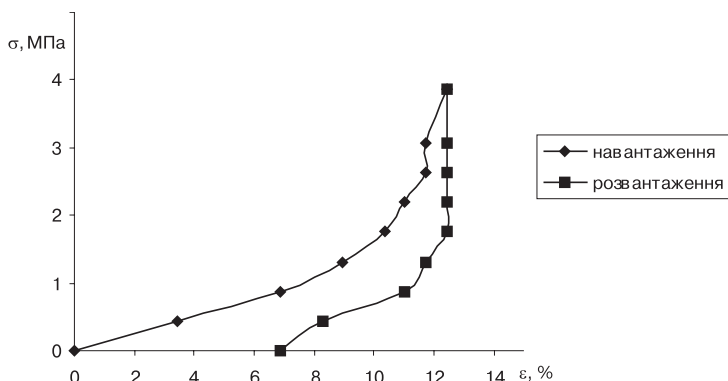


Рис. 1. Діаграма стиску та релаксації матеріалу штамп при змінному навантаженні

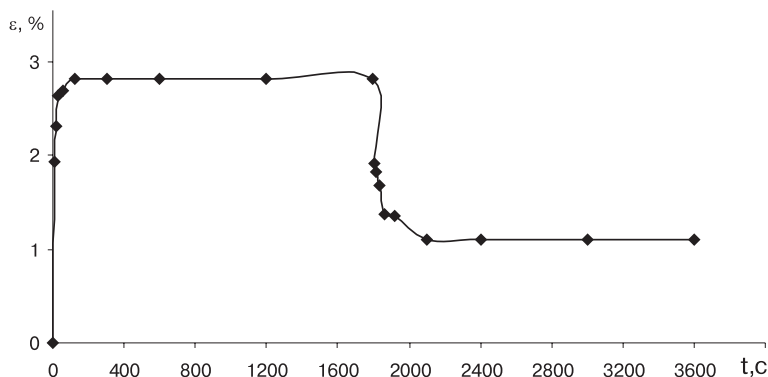
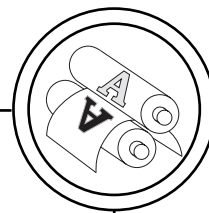


Рис. 2. Крива повзучості та релаксації деформації штамп
при постійному навантаженні

Із рис. 2 видно, що в момент прикладення навантаження деформація розвивається миттєво, вона підпорядковується закону Гука і називається пружною деформацією та складає 0,91 %. Пружна деформація релаксує моментально після зняття навантаження (рівна вертикальна лінія на рисунку).

Еластична деформація розвивається на наступній ділянці кривої навантаження до піку і релаксує до стабілізації значення деформації, складає 0,81 %. Повільна еластична деформація включає в себе і деформацію те-

кучості, яка не релаксує, її часто називають залишковою (пластичною) деформацією, $\varepsilon_{пл}$ складає 1,09 %.

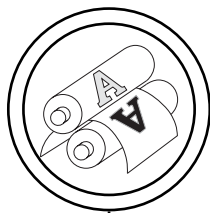
Штамп характеризується сприятливим розподілом пружно-еластичних і пластичних деформацій, що забезпечує покращення друкарського контакту і скорочення часу на приправку [2].

З використанням експериментальних даних розраховано фізико-механічні характеристики штамп, які представлені у таблиці 2.

На рисунках 3 і 4 відображено криві питомого зношування за ма-

Таблиця 1
Розраховані фізико-механічні характеристики фотополімерного штамп при змінному навантаженні (0,4–3,8 МПа)

Характеристика	Умове позначення, одиниці вимірювання	Значення
Твердість штамп	од. Шора А	97
Модуль стиску	E_c , МПа	9,85
Модуль пружності	$E_{пр}$, МПа	8,06
Коефіцієнт механічних втрат	Х	0,25



Таблиця 2

Розраховані фізико-механічні характеристики фотополімерного штампа при постійному навантаженні (0,7 МПа)

Характеристика	Умовне позначення, одиниці вимірювання	Значення
Середня швидкість повзучості	$v_{сер}$, м/с	0,05
Модуль пружності	E_p , МПа	36,26
Модуль стиску	$E_{ст}$, МПа	24,78
Податливість при повзучості	J_p	0,03
Відновлення повзучості	R , %	61,16
Пружна деформація	$\epsilon_{пр}$, %	0,91
Еластична деформація	$\epsilon_{ел}$, %	0,81
Пластична деформація	$\epsilon_{пл}$, %	1,09
Сумарна деформація	$\epsilon_{сум}$, %	2,81
Частка пружної деформації в сумарній	$\chi_{пр}$, %	32,40
Частка еластичної деформації в сумарній	$\chi_{ел}$, %	28,82
Частка пластичної деформації в сумарній	$\chi_{пл}$, %	38,78

сою та об'ємом досліджуваного фотополімерного штампа залежно від кількості циклів тертя.

Як бачимо з рисунків 3 і 4, на початковому етапі тертя відбувається швидка втрата маси полімерного шару штампа, яка потім сповільнюється. Це можна

пояснити процесом припрацювання поверхні досліджуваного зразка та абразивного матеріалу.

На рис. 5 привертає увагу різкий стрибок градієнта швидкості зношування на початку процесу. Ймовірно, він пов'язан

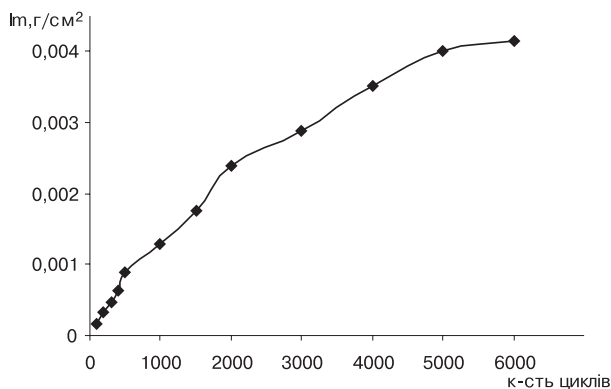


Рис. 3. Крива залежності питомого зношування за масою від кількості циклів тертя

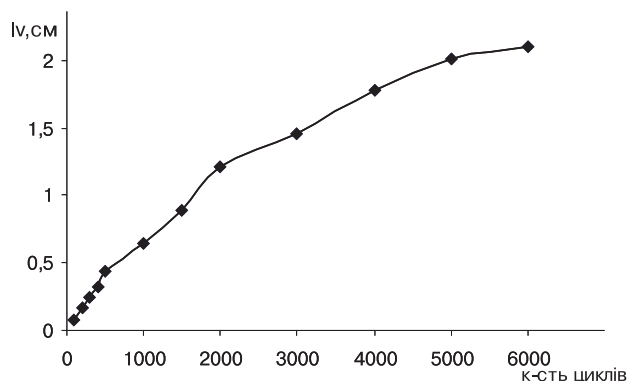
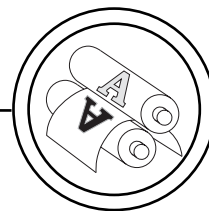


Рис. 4. Крива залежності питомого об'ємного зношування від кількості циклів тертя

ний з фотодеструкцією поверхні елементів фотополімерного штампа [3].

Зшитий полімер, який має сітчасту або просторово-сітчасту структуру, втрачає здатність плавитись. Критерієм стійкості полімеру до температурної обробки може служити термомеханічна характеристика — рис. 6 та дериватограма — рис. 7.

Як бачимо з рис. 6, спочатку термомеханічна крива різко зростає, а при температурі $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ріст деформації стабілізується і

є незначним до температури $+106\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ця ділянка відповідає високоеластичному стану досліджуваного зразка, при якому активується сегментна рухливість макромолекул, яка виражається у виникненні напружень, що протидіють деформуючому зусиллю. На термомеханічній кривій формується плато високоеластичності [4]. При температурі вище $+106\text{ }^{\circ}\text{C}$ деформація зростає — посилюється рухливість як сегментів, так і цілих макромолекул. Переміщення макро-

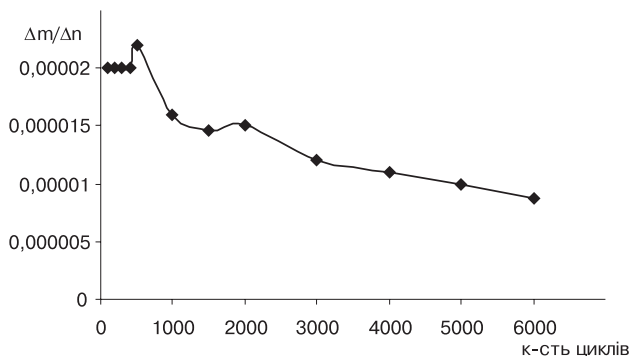


Рис. 5. Крива залежності градієнта швидкості зношування від кількості циклів тертя

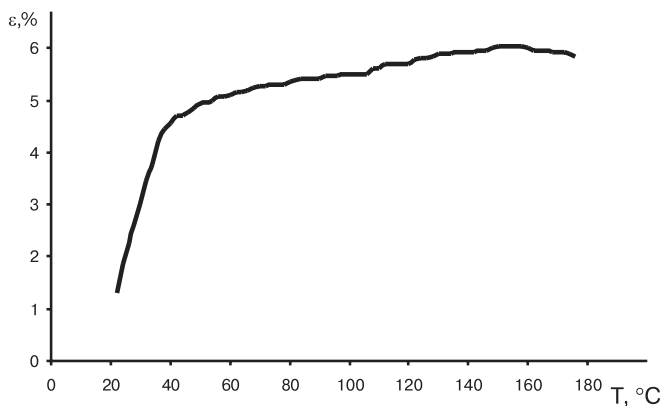
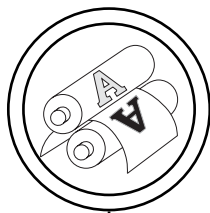


Рис. 6. Термомеханічна крива фотополімерного штамп для тиснення

молекул одна відносно одної спричиняє розвиток незворотної деформації текучості.

Штамп характеризується великими деформаціями при температурі нагрівання до +180 °C, що свідчить про повністю зшиту структуру матеріалу та високу термостійкість в робочому діапазоні штамп.

В області температур +20–90 °C на кривій ДТА (диференційний

термічний аналіз) спостерігається поява ендотермічного піку, який відповідає розм'якшенню зразка і його переходу у високоеластичний стан (процес склування). В області температур +90–140 °C на цій же кривій присутній чіткий ендотермічний пік з максимумом при температурі 110 °C, який відповідає процесу переходу зразка із високоеластичного у в'язкотекучий стан [5].

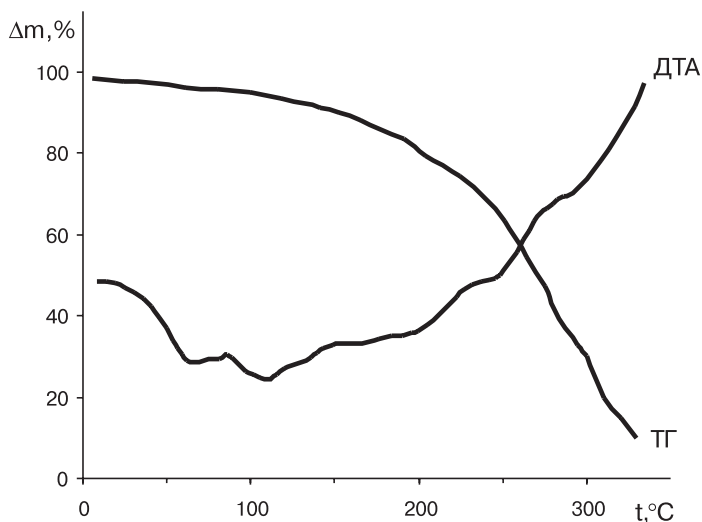
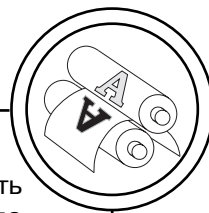


Рис. 7. Дериватограма фотополімерного штамп для тиснення



Поява ендоефектів не супроводжується втратою маси на кривій ТГ (термогравіметрична крива), що дозволяє експлуатацію штампів в цьому діапазоні температур.

При температурах, вищих +180 °С на кривій ТГ спостерігається інтенсивна втрата маси зразка, яка відповідає процесу його термоокисної деструкції, що супроводжується появою чіткого екзотермічного ефекту на кривій ДТА.

Висновки

Аналіз літератури та результатів досліджень дозволив визначити такі фактори впливу на експлуатаційні характеристики фотополімерного штампів для тиснен-

ня як температура, час, швидкість навантаження; тиск, амплітуда напруження і деформації, вид напружуючого стану; термообробка чи термічна передісторія; оточуюче середовище.

У роботі досліджено наступні фізико-механічні властивості фотополімерного штампів: твердість матеріалу, деформаційні властивості при дії навантаження, зносостійкість, термостійкість полімеру та розраховано модуль стиску і модуль пружності, коефіцієнт механічних втрат; пружну, еластичну та пластичну деформації; швидкість зношування та питомі показники зношування; визначено температурні діапазони зміни фізичних станів фотополімерного штампів.

1. Тагер А. А. Физико-химия полимеров / А. Тагер. — М. : Химия, 1968. — 536 с.
2. Бернацек В. В. Печатные свойства штампов из фотополимеров и фотомономеров / В. В. Бернацек, Э. Т. Лазаренко, Б. В. Коваленко [та ін.] // Полиграфия. — 1970. — № 12. — С. 16—18.
3. Лазаренко Э. Т. Фотохимическое формование печатных форм / Э. Лазаренко. — Львов : Высшая школа, 1984. — 152 с.
4. Лямкин Д. И. Механические свойства полимеров: учеб. пособие. / Д. Лямкин. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2000. — 64 с.
5. Павлова С.-С. А. Термический анализ органических и высокомолекулярных соединений / С.-С. А. Павлова, И. В. Журавлева, Ю. И. Толчинский. — М. : Химия, 1983. — 120 с.
6. Анісімова С. В. Деякі властивості гнучких фотополімерних друкарських форм УПІ / С. В. Анісімова, В. О. Дудяк, Б. В. Коваленко [та ін.] // Поліграфія і видавнича справа. — 1967. — вип. 3. — С. 17—23.
7. Маїк В. З. Тиснення: технології, матеріали, устаткування / В. З. Маїк. — Львів : НВП «Мета», 1997. — 176 с.
8. Маїк В. З. Физико-механические свойства полимерных материалов для изготовления штампов / В. З. Маїк // Полиграфическая промышленность: научно-технический информационный сборник. — М. : НИЦ «Информпечать», 1996. — № 3. — С. 14—19.
9. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен, Е. Лоуренс; пер. с англ. — М. : Химия, 1978. — 309 с.
10. Сулейманов Е. В. Свойства материалов и методы их прогнозирования / Е. Сулейманов. — Нижний Новгород, 2007. — 117 с.

Рецензент — Л. С. Слоцька, к.т.н.,
доцент, УАД

Надійшла до редакції 17.03.11